

Optimasi Waktu Inkubasi dan pH *Ganoderma* sp. dari Kebun Raya Baturraden untuk Dekolorisasi RBBR

Maria Pricilia Gita Permana Putri¹, Ratna Stia Dewi¹, Ajeng Arum Sari*²

¹Fakultas Biologi, Universitas Jenderal Soedirman

²Pusat Penelitian Kimia, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)

*Email : ajeng.a.sari@gmail.com

Rekam Jejak Artikel:

Diterima : 26/08/2019

Disetujui : 25/04/2020

Abstract

White rot fungi are known to have the ability to decolorize dyes, one of them is *Ganoderma* sp. From the Baturraden Botanical Garden. The fungus is able to decolorize *Remazol Brilliant Blue R* (RBBR) which is toxic, mutagenic, carcinogenic, and stable to physical and chemical treatments. The decolorization process can be influenced by environmental factors such as incubation time and pH. Every White rot fungus has an optimum incubation time and pH different in decolorizing the dye. This study aims to determine the ability of *Ganoderma* sp. Isolates from Baturraden Botanical Garden with different incubation times and pH in decolorizing RBBR dyes, as well as knowing the incubation time and pH variations that show the best results. This study used an experimental method with a Completely Randomized Design (CRD) with variation treatment in this study consisting of incubation time of 24, 48, 72, 96, and 120 hours with pH 3, 4, 5, 6, dan 7. Results of the study showed that *Ganoderma* sp. of Baturraden Botanical Garden able to decolte RBBR at the time incubation and pH differ with the percentage of decolorization 4,10% - 83,04%. The percentage decolorization highest indicated at the time incubation 96 hours and pH 6, that is 83,04%. It proved that *Ganoderma* sp. from Baturraden Botanical Garden has an optimum incubation time of 96 hours, an optimum pH of 6 to decolorize RBBR.

Keywords: *Decolorization; Ganoderma* sp.; pH; RBBR; incubation time

Abstrak

Jamur pelapuk putih diketahui memiliki kemampuan untuk mendekolorisasi pewarna, salah satunya jamur *Ganoderma* sp. dari Kebun Raya Baturraden. Jamur tersebut mampu mendekolorisasi *Remazol Brilliant Blue R* (RBBR) yang bersifat toksik, mutagenik, karsinogenik, dan stabil terhadap perlakuan fisika maupun kimia. Proses dekolourisasi dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti waktu inkubasi dan pH. Setiap jamur pelapuk putih memiliki waktu inkubasi dan pH optimum yang berbeda dalam mendekolorisasi pewarna. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan isolat *Ganoderma* sp. dari Kebun Raya Baturraden dengan waktu inkubasi dan pH berbeda dalam mendekolorisasi pewarna RBBR, serta mengetahui variasi waktu inkubasi dan pH yang menunjukkan hasil terbaik. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan Perlakuan variasi pada penelitian ini terdiri dari waktu inkubasi yaitu 24, 48, 72, 96, dan 120 jam, serta pH 3, 4, 5, 6, dan 7. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Ganoderma* sp. dari Kebun Raya Baturraden mampu mendekolorisasi RBBR pada waktu inkubasi dan pH berbeda dengan persentase dekolourisasi 4,10% - 83,04%. Persentase dekolourisasi tertinggi ditunjukkan pada waktu inkubasi 96 jam dan pH 6, yaitu 83,04%. Hal tersebut membuktikan bahwa *Ganoderma* sp. dari Kebun Raya Baturraden memiliki waktu inkubasi optimum 96 jam, serta pH optimum 6 untuk mendekolorisasi RBBR.

Kata kunci: *Dekolorisasi; Ganoderma* sp.; pH; RBBR; waktu inkubasi

PENDAHULUAN

Jamur pelapuk putih merupakan agen biologi yang banyak digunakan dalam proses dekolourisasi pewarna sintetik karena memiliki efisiensi yang tinggi dan ramah lingkungan (Rao *et al.*, 2014; Upadhyay *et al.*, 2016). Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa jamur pelapuk putih, seperti *Ganoderma* sp. mampu mendekolorisasi berbagai jenis pewarna (Bilal *et al.*, 2015). Jamur ini memiliki tubuh buah yang keras dengan permukaan yang tidak rata dan tepinya bergelombang (Hasanuddin, 2014). Jamur dari ordo Polyporales tersebut memiliki suhu

optimum pertumbuhan berkisar antara 25-30°C. Hal ini dapat dilihat dari beberapa studi yang menunjukkan adanya *Ganoderma* sp. di beberapa negara beriklim tropis (Almaguer *et al.*, 2014; Agrawal *et al.*, 2018; Nguyen *et al.*, 2019; Torres-Farrada *et al.*, 2019). Salah satu kawasan beriklim tropis yang berpotensi ditumbuhi *Ganoderma* sp. adalah Kebun Raya Baturraden. Hasil eksplorasi dan seleksi yang dilakukan oleh Sari dan Dewi (2019) yaitu di kawasan ini ditemukan jamur *Ganoderma* sp. yang memiliki kemampuan mendekolorisasi pewarna *Remazol Brilliant Blue R* (RBBR).

RBBR merupakan salah satu pewarna sintetik yang banyak digunakan dalam industri tekstil karena memiliki gugus kromofor yang mudah memberikan warna-warna cerah dan tidak mudah luntur (Hidayati *et al.*, 2016). Pewarna ini dijadikan sebagai salah satu pewarna antrakuinon yang mewakili jenis polutan organik yang beracun dan rekalsitran karena turunan dari antrasena (C₁₄H₁₀) yang merupakan hidrokarbon aromatik polisiklik (Fouillaud *et al.*, 2017; Lazim *et al.*, 2015). Rahmat *et al.* (2016) menambahkan bahwa RBBR memiliki struktur kimia yang stabil, sehingga sulit didegradasi oleh perlakuan kimia maupun fisika. Perlu dilakukan suatu upaya yang lebih efektif untuk mendegradasi pewarna RBBR tersebut, salah satunya dengan metode biologi menggunakan jamur pelapuk putih (Hadibarata & Kristanti, 2012).

Dekolorisasi pewarna menggunakan jamur dipengaruhi oleh jenis jamur yang digunakan dan kondisi lingkungan seperti pH, waktu inkubasi, dan temperatur (Saetang & Babel, 2010). pH berbeda menyebabkan nilai dekolourisasi yang berbeda pula (Dewi *et al.*, 2019a). Waktu inkubasi dan pH optimum yang dibutuhkan tiap jamur pelapuk putih berbeda untuk mendekolorisasi pewarna. Lamanya waktu inkubasi akan memengaruhi aktivitas pertumbuhan jamur dan pH memengaruhi aktivitas enzim dalam merombak zat warna (Muslimah & Kuswiyasari, 2013). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa *Ganoderma sp.* dapat mendekolorisasi berbagai jenis pewarna pada waktu inkubasi optimum 96 jam pada pH 6 (Ma *et al.*, 2014; Lu *et al.*, 2015; Sudiana *et al.*, 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan isolat *Ganoderma sp.* dari Kebun Raya Baturraden dengan waktu inkubasi dan pH berbeda dalam mendekolorisasi pewarna RBBR, serta mengetahui variasi waktu inkubasi dan pH manakah yang menunjukkan hasil terbaik dalam mendekolorisasi pewarna RBBR.

MATERI DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kimia Pusat Penelitian Kimia LIPI, Serpong, Tangerang, pada bulan Februari – Juli 2019. Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah satu isolat *Ganoderma sp.* hasil koleksi Ajeng Arum Sari dan Ratna Stia Dewi. yang diisolasi dari Kebun Raya Baturraden.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini bor gabus (diameter 6 mm), *shaker*, autoklaf, oven, pH meter, timbangan analitik, UV-Vis spektrofotometer, dan *Laminar Air Flow* (LAF).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pewarna *Remazol Brilliant Blue R* (RBBR), kertas saring *Whatman No.1*, larutan *buffer* pH (4 dan 6,8), NaOH 1N, HCl 1N, medium *Potato Dextrose Agar* (PDA), dan medium *Potato Dextrose Broth* (PDB).

Penelitian menggunakan metode eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Variabel bebas pada penelitian ini adalah kemampuan jamur

dalam mendekolorisasi pewarna RBBR, sedangkan variabel terikatnya adalah waktu inkubasi dan pH. Parameter utama yang diukur adalah persentase dekolourisasi pewarna RBBR, sedangkan parameter pendukung yang diukur adalah bobot kering miselium.

Peremajaan Isolat Jamur

Isolat jamur yang digunakan diremajakan ke dalam cawan petri yang berisi medium PDA, kemudian diinkubasi selama 7 hari pada suhu ruang.

Pembuatan Inokulum Jamur

Isolat murni diambil sebanyak 5 *plug* (1,2 cm), lalu diinokulasikan ke dalam medium PDB sebanyak 100 mL dalam labu Erlenmeyer 250 mL secara aseptis, kemudian diinkubasi pada *shaker* dengan kecepatan 70 rpm selama 7 x 24 jam.

Dekolorisasi Pewarna RBBR

Setelah diinkubasi 7 x 24 jam, inokulum jamur yang sudah terbentuk dipisahkan dari medium pertumbuhannya secara aseptis. Inokulum jamur yang sudah terpisah, kemudian ditambahkan pewarna RBBR dengan konsentrasi 100 ppm sebanyak 100 mL secara aseptis, lalu diinkubasi menggunakan *shaker* pada kecepatan 70 rpm dengan variasi waktu inkubasi 24, 48, 72, 96, dan 120 jam serta variasi pH 3, 4, 5, 6, dan 7.

Pengukuran dekolourisasi pewarna RBBR

Penurunan pewarna RBBR diukur dengan metode spektrofotometri. Sampel pewarna sesudah perlakuan dan kontrol diambil sebanyak 5 mL, lalu diukur absorbansinya menggunakan UV-Vis spektrofotometer dengan panjang gelombang maksimum (λ_{max}) pewarna RBBR yaitu 595 nm. Persentase dekolourisasi pewarna RBBR dihitung menggunakan rumus:

$$\frac{\text{absorbansi awal} - \text{absorbansi akhir}}{\text{absorbansi awal}} \times 100\%$$

Pengukuran bobot kering miselium

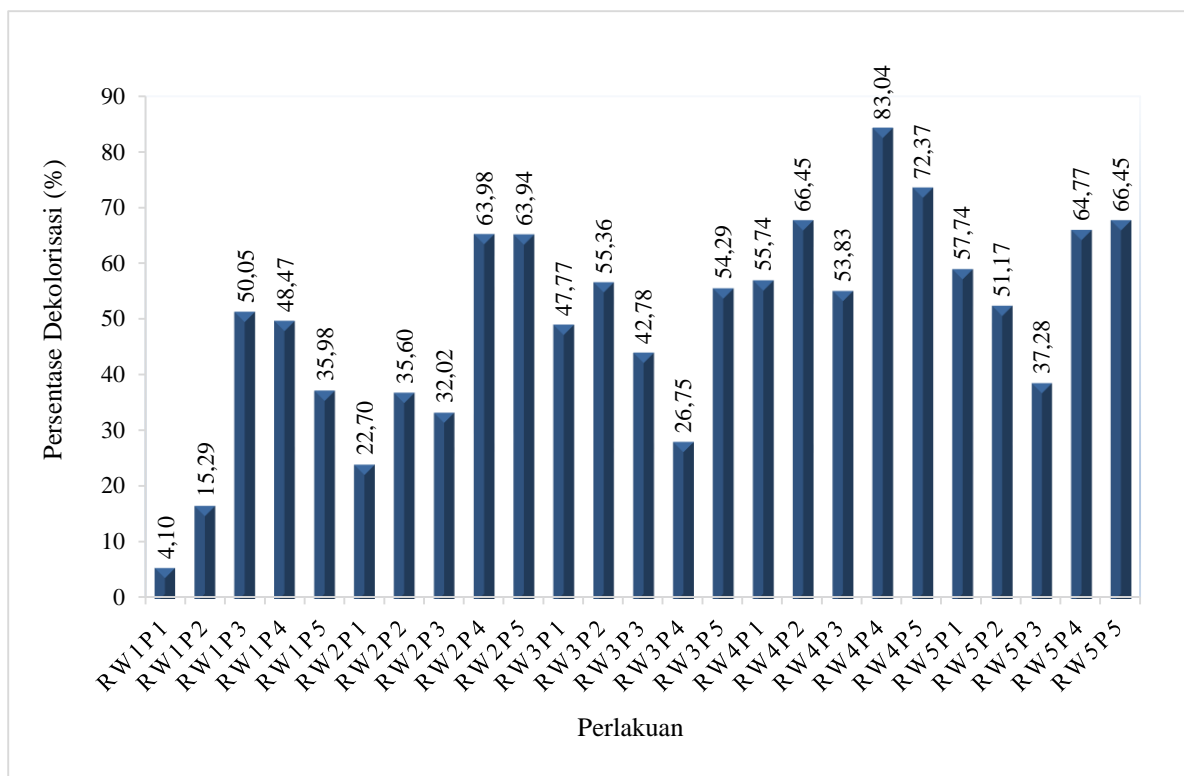
Miselium hasil dekolourisasi disaring menggunakan kertas saring, kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 60°C sampai mencapai bobot konstan. Bobot kering miselium dihitung dengan cara menghitung selisih bobot miselium jamur dan bobot kertas saring dengan bobot kertas saringnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan *Ganoderma sp.* dari Kebun Raya Baturraden dengan variasi waktu inkubasi dan pH mampu mendekolorisasi pewarna RBBR. Rata-rata persentase dekolourisasi RBBR menggunakan *Ganoderma sp.* dari Kebun Raya Baturraden disajikan pada Gambar 1. Persentase dekolourisasi tertinggi ditunjukkan oleh perlakuan 96 jam pada pH 6, yaitu 83,04%, sedangkan yang terendah pada perlakuan 24 jam dengan pH 3, yaitu 4,10%. Hasil

tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Papadopoulou *et al.* (2013) yang membuktikan bahwa *Ganoderma* sp. mampu mendekolorisasi berbagai macam pewarna, salah satunya RBBR. Oliveira *et al.* (2018) menyatakan dalam penelitiannya bahwa, *Ganoderma* sp. memiliki kemampuan mendekolorisasi RBBR lebih dari 40%.

Menurut Zhuo *et al.* (2011), *Ganoderma* sp. lebih efisien dalam mendekolorisasi pewarna karena memiliki kemampuan mendekolorisasi lebih cepat dibandingkan jamur pelapuk putih lainnya dan membutuhkan waktu inkubasi yang singkat untuk mendekolorisasi pewarna dengan maksimal.



Gambar 1. Histogram rata – rata persentase dekolorisasi pewarna RBBR menggunakan *Ganoderma* sp. dengan waktu inkubasi dan pH berbeda

Keterangan :

RW1P1 = RBBR pada waktu inkubasi 24 jam dan pH 3
 RW1P2 = RBBR pada waktu inkubasi 24 jam dan pH 4
 RW1P3 = RBBR pada waktu inkubasi 24 jam dan pH 5
 RW1P4 = RBBR pada waktu inkubasi 24 jam dan pH 6
 RW1P5 = RBBR pada waktu inkubasi 24 jam dan pH 7
 RW2P1 = RBBR pada waktu inkubasi 48 jam dan pH 3
 RW2P2 = RBBR pada waktu inkubasi 48 jam dan pH 4
 RW2P3 = RBBR pada waktu inkubasi 48 jam dan pH 5
 RW2P4 = RBBR pada waktu inkubasi 48 jam dan pH 6
 RW2P5 = RBBR pada waktu inkubasi 48 jam dan pH 7
 RW3P1 = RBBR pada waktu inkubasi 72 jam dan pH 3
 RW3P2 = RBBR pada waktu inkubasi 72 jam dan pH 4
 RW3P3 = RBBR pada waktu inkubasi 72 jam dan pH 5

RW3P4 = RBBR pada waktu inkubasi 72 jam dan pH 6
 RW3P5 = RBBR pada waktu inkubasi 72 jam dan pH 7
 RW4P1 = RBBR pada waktu inkubasi 96 jam dan pH 3
 RW4P2 = RBBR pada waktu inkubasi 96 jam dan pH 4
 RW4P3 = RBBR pada waktu inkubasi 96 jam dan pH 5
 RW4P4 = RBBR pada waktu inkubasi 96 jam dan pH 6
 RW4P5 = RBBR pada waktu inkubasi 96 jam dan pH 7
 RW5P1 = RBBR pada waktu inkubasi 120 jam dan pH 3
 RW5P2 = RBBR pada waktu inkubasi 120 jam dan pH 4
 RW5P3 = RBBR pada waktu inkubasi 120 jam dan pH 5
 RW5P4 = RBBR pada waktu inkubasi 120 jam dan pH 6
 RW5P5 = RBBR pada waktu inkubasi 120 jam dan pH 7

Hasil uji BNJ dengan tingkat kesalahan 5% dan 1% (Tabel 2.) menunjukkan antar perlakuan menunjukkan perbedaan yang nyata. Hal tersebut menunjukkan bahwa perlakuan dekolorisasi menggunakan *Ganoderma* sp. pada waktu inkubasi dan pH berbeda berpengaruh terhadap dekolorisasi

RBBR. Rata-rata persentase dekolorisasi tertinggi diperoleh pada perlakuan 96 jam dengan pH 6 yaitu 83,04%. Hasil ini membuktikan bahwa perlakuan 96 jam dengan pH 6 merupakan perlakuan terbaik karena berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

Tabel 2. Uji Beda Nyara Jujur (BNJ) persentase dekolorisasi pewarna RBBR menggunakan *Ganoderma* sp. dengan waktu inkubasi dan pH berbeda pada tingkat kesalahan 5% dan 1%

Perlakuan	Rata-Rata Persentase Dekolorisasi (%)	
RW ₁ P ₁	4,10	m
RW ₁ P ₂	15,29	l
RW ₁ P ₃	50,05	efg
RW ₁ P ₄	48,47	fg
RW ₁ P ₅	35,98	hi
RW ₂ P ₁	22,70	kl
RW ₂ P ₂	35,60	hij
RW ₂ P ₃	32,02	ij
RW ₂ P ₄	63,98	bcd
RW ₂ P ₅	63,94	bcd
RW ₃ P ₁	47,77	fg
RW ₃ P ₂	55,36	def
RW ₃ P ₃	42,78	gh
RW ₃ P ₄	26,75	jk
RW ₃ P ₅	54,29	ef
RW ₄ P ₁	55,74	def
RW ₄ P ₂	66,45	bc
RW ₄ P ₃	53,83	ef
RW ₄ P ₄	83,04	a
RW ₄ P ₅	72,37	b
RW ₅ P ₁	57,74	cde
RW ₅ P ₂	51,17	efg
RW ₅ P ₃	37,28	hi
RW ₅ P ₄	64,77	bc
RW ₅ P ₅	66,45	bc

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang sama berbeda tidak nyata pada BNJ 5% dan 1%

Waktu inkubasi optimum yang didapatkan pada penelitian ini adalah 96 jam. Penelitian Lu *et al.* (2015) membuktikan bahwa dalam waktu 96 jam *Ganoderma* sp. dapat mendekolorisasi RBBR. Lama waktu inkubasi akan memengaruhi aktivitas jamur dalam merombak zat warna (Novak *et al.*, 2001). Saat waktu inkubasi 96 jam, diduga jamur memasuki fase eksponensial. Dekolorisasi terbesar terjadi pada fase eksponensial karena pada fase ini jumlah dan aktivitas sel meningkat (Sumathi & Phatak, 1999; Gandjar *et al.*, 2007), sehingga diduga produksi enzim untuk dekolorisasi juga meningkat.

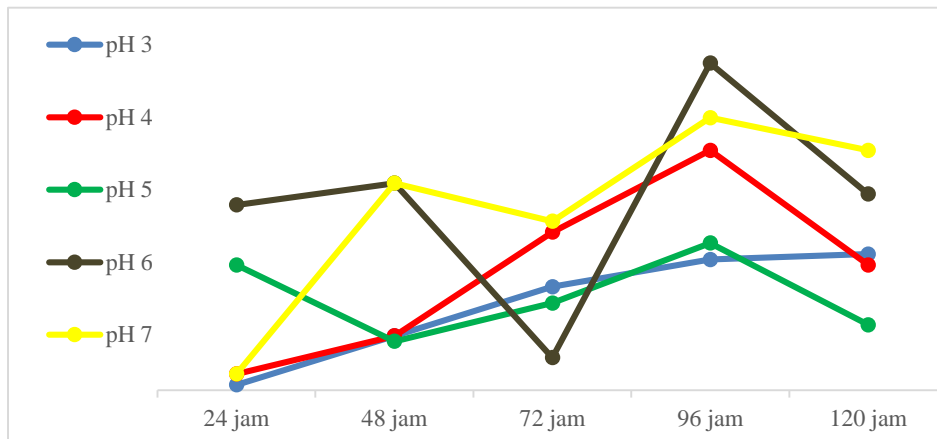
Chen dan Ting (2015) menyatakan bahwa lakase merupakan enzim lignolitik yang berperan dalam dekolorisasi pewarna. Menurut Zeng *et al.* (2011), lakase lebih efisien dalam mendekolorisasi pewarna antrakuinon dibandingkan dengan pewarna lainnya. Waktu inkubasi dapat memengaruhi aktivitas lakase karena semua enzim memiliki kemampuan untuk mempertahankan stabilitas sisi aktifnya dalam waktu tertentu. Kemampuan ini bersifat spesifik dan berbeda antara satu enzim dengan yang lain (Noviendri *et al.*, 2008).

Nilai pH optimum pada penelitian ini ditunjukkan oleh pH 6. Hal ini diduga karena adanya peningkatan aktivitas enzim lignolitik yang berperan dalam dekolorisasi pada pH tersebut. Penelitian

Adebayo-Tayo *et al.* (2016) menunjukkan bahwa aktivitas lakase tertinggi pada pH 6 yaitu lebih dari 135,48 U l⁻¹ dalam dekolorisasi pewarna. pH larutan pewarna dapat memengaruhi muatan permukaan adsorben yang berperan dalam adsorpsi (Fu & Viraraghavan, 2001). Apabila pH larutan pewarna terlalu rendah, jumlah muatan negatif pada biosorben lebih sedikit. pH yang terlalu rendah tidak menguntungkan untuk adsorpsi kation pewarna yang bermuatan positif karena ion H⁺ yang banyak dalam larutan membuat kation pewarna harus bersaing dengan ion H⁺ untuk menempel pada situs aktif dari biosorben, yaitu miselium jamur. Sebaliknya, bila pH pewarna meningkat, jumlah situs permukaan yang bermuatan negatif lebih banyak karena adanya deprotonisasi gugus fungsional pada biosorben. Hal ini dapat meningkatkan gaya elektrostatis antara biosorben yang bermuatan negatif dan ion positif pewarna, sehingga dapat meningkatkan proses adsorpsi (Saeed *et al.*, 2009).

Proses dekolorisasi pewarna disebabkan karena adanya proses adsorpsi oleh miselium jamur sebagai sistem non enzimatis dilanjutkan dengan adanya kemampuan degradasi oleh isolat karena terjadinya aktivitas metabolisme dengan sistem enzimatis (Dewi & Lestari, 2010). Adsorpsi atau penyerapan adalah proses pemisahan komponen tertentu dari suatu fluida berpindah ke suatu permukaan zat padat penyerap (adsorben) (Purnama & Setiati, 2004). Sistem enzimatis melibatkan enzim lignolitik seluler, yaitu mangan peroksidase (MnP), lignin peroksidase (LiP), dan lakase (Lac) (Saito *et al.*, 2018). Enzim tersebut bersifat tidak spesifik pada ikatan rantai aromatik, sehingga berpotensi dalam mendegradasi struktur aromatik dengan batasan yang luas, salah satunya pewarna sintetik (Abadulla *et al.*, 2000).

Mekanisme dekolorisasi pewarna dengan enzim lignolitik diawali dari oksidasi enzim lignolitik oleh oksigen, selanjutnya enzim lignolitik dalam keadaan teroksidasi tersebut mengoksidasi zat warna (Yesiladal *et al.*, 2006). Sehingga, enzim lignolitik dapat merombak senyawa aromatik, polimer sintetik, dan zat warna melalui reaksi redoks, dimana enzim tersebut akan mengoksidasi secara sempurna senyawa senyawa karbon menjadi CO₂ dan H₂O (Siswanto *et al.*, 2007). Menurut Dewi *et al.* (2019b), enzim lignolitik berperan dalam dekolorisasi pewarna RBBR. Osma *et al.* (2010) menyatakan bahwa enzim lignolitik, khususnya lakase, dapat mendegradasi RBBR menjadi dua sub produk dan memecah kromofor pewarna menjadi bentuk molekul yang lebih kecil dengan tingkat toksisitas yang rendah.



Gambar 2. Grafik bobot kering miselium

Gambar 2. menunjukkan bahwa bobot kering miselium tertinggi pada waktu inkubasi 96 jam dan pH 6, yaitu 0,6 gram. Hal tersebut membuktikan bahwa bobot kering miselium jamur berkorelasi dengan hasil dekolonisasi yang diperoleh. Peningkatan adsorpsi oleh miselium jamur dengan pewarna berkaitan dengan umur kultur. Hal tersebut akan meningkatkan massa dinding sel jamur (Zhou & Banks, 1993). Dinding sel jamur tersusun dari kitin atau kitosan yang berperan dalam penyerapan berbagai zat, sehingga apabila massa dinding sel jamur meningkat, maka persentase kitin atau kitosan juga akan meningkat (Volesky, 1990; Zhou & Banks, 1993) dan memengaruhi dekolonisasi pewarna. Nilai pH larutan pewarna dapat memengaruhi ionisasi zat warna dan muatan permukaan biomassa (Aksu et al., 2008; Cardoso et al., 2012). Persentase dekolonisasi tertinggi yang disertai dengan pertumbuhan biomassa yang signifikan pada pH 6 menunjukkan bahwa jamur dapat menggunakan pewarna sebagai sumber karbon untuk pertumbuhannya (El-Rahim et al., 2009).

SIMPULAN

Ganoderma sp. dari Kebun Raya Beturraden dengan perlakuan waktu inkubasi dan pH berbeda mampu dalam mendekolorisasi pewarna RBBR. Hasil perlakuan kombinasi waktu inkubasi dan pH terbaik dalam mendekolorisasi RBBR adalah 96 jam pada pH 6 dengan persentase dekolonisasi 83,04% dan bobot kering miselium 0,6 gram.

DAFTAR REFERENSI

- Abadulla, E., Karl, H.R. & Georg, M.G., 2000. Enzymatic Decolorization of Textile Dyeing Effluents. *Journal Textile Research*, 70(5), pp.409-414.
- Adebayo-Tayo, B., Olaseinde, K., Odeniyi, O.A., Wakil, S.M. & Onilude, A., 2016. Catalytic Activity and Purification of Thermostable Lignases from *Ganoderma* sp. ADE468 and Its Potential Application in The Decolourization of Dyes. *Suranaree Journal of Science and Technology*, 23(3), pp.309-323.
- Agrawal, N., Verma, P. & Shahi, S.K., 2018. Degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (Phenanthrene and Pyrene) by The Ligninolytic Fungi *Ganoderma lucidum* Isolated from The Hardwood Stump. *Bioresources and Bioprocessing*, 5(11), pp. 1-9.
- Aksu, Z., Tatli, A. & Tunç, O., 2008. A Comparative Adsorption/Biosorption Study of Acid Blue 161: Effect of Temperature on Equilibrium and Kinetic Parameters. *Chemical Engineering Journal*, 142, pp.23-39.
- Almaguer, M., Rojas-Flores, T., Rodríguez-Rajo, J. & Aira, M.J., 2014. Airborne Basidiospores of *Coprinus* and *Ganoderma* in a Caribbean Region. *Aerobiologia*, 30, pp.197-204.
- Bilal, M., Asgher, M. & Ramzan, M., 2015. Purification and Biochemical Characterization of Extracellular Manganese Peroxidase from *Ganoderma lucidum* IBL-05 and Its Application. *Academic Journal*, 10(14), pp.1-9
- Cardoso, N.F., Lima, E.C., Royer, B.M., Bach, V., Dotto, G.L., Pinto, L.A. & Calvete, T., 2012. Comparison of *Spirulina platensis* Microalgae and Commercial Activated Carbon as Adsorbents for The Removal of Reactive Red 120 Dye from Aqueous Effluents. *Journal of Hazardous Materials*, 241-242, pp.146-153.
- Chen, S.H. & Ting, A.S.Y., 2015. Biodecolorization and Biodegradation Potential of Recalcitrant Triphenylmethane Dyes by *Corioloropsis* sp. Isolated from Compost. *Journal of Environmental Management*, 150, pp.274-280.
- Dewi, R.S. & Lestari, S., 2010. Dekolorisasi Limbah Batik Tulis Menggunakan Jamur Indigenous Hasil Isolasi pada Konsentrasi Limbah yang Berbeda. *Molekul*, 5(2), pp.75-82.

- Dewi, R.S., Kasiamdari, R.S., Martani, E. and Purwestri, Y.A., 2019a, April. Optimization of the conditions for the decolorization of batik wastewater by *Aspergillus sp.* 3. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2094, No. 1, p. 020036). AIP Publishing LLC.
- Dewi, R.S., Ilyas, M. and Sari, A.A., 2019b. Ligninolytic Enzyme Immobilization from *Pleurotus ostreatus* for Dye and Batik Wastewater Decolorization. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 8(2), pp.220-229.
- El-Rahim, W.M.A., El-Ardy, O.A.M. & Mohammad, F.H.A., 2009. The Effect of pH on Bioremediation Potential for The Removal of Direct Violet Textile Dye by *Aspergillus niger*. *Desalination*, 249(3), pp.1206-1211.
- Fouillaud, M., Caro, Y., Venkatachalam, M., Grondin, I. & Dufossé, L., 2017. *Anthraquinones*. England: Taylor and Francis Group.
- Fu, Y. & Viraraghavan, T., 2001. Fungal Decolorization of Dye Wastewaters: A Review. *Bioresource Technology*, 79, pp.251-262.
- Gandjar, I., Sjamsuridzal, W. & Oetari, A., 2007. *Mikologi Dasar dan Terapan*. Jakarta: Yayasan Buku Obor.
- Hadibarata, T. & Kristanti, R.A., 2012. Effect of Environmental Factors in The Decolorization of Remazol Brilliant Blue R by *Polyporus sp.* S133. *Journal of The Chilean Chemical Society*, 57(2), pp.1095-1098.
- Hasanuddin, 2014. Jenis Jamur Kayu Makroskopis Sebagai Media Pembelajaran Biologi (Studi di TNGL Blangjerango Kabupaten Gayo Lues). *Jurnal Biotik*, 2(1), pp.1-76.
- Hidayati, P., Ulfan, I. & Juwono, H., 2016. Adsorpsi Zat Warna Remazol Brilliant Blue R Menggunakan Nata De Coco: Optimasi Dosis Adsorben dan Waktu Kontak. *Jurnal Seni dan Sains ITS*, 5(2), pp.134-136.
- Lazim, Z.M., Mazuin, E., Hadibarata, T. & Yusop, Z., 2015. The Removal of Methylene Blue and Remazol Brilliant Blue R Dyes by Using Orange Peel and Spent Tea Leaves. *Journal Teknologi*, 74, pp.129-135.
- Lu, R., Ma, L., He, F., Yu, D., Fan, R., Zhang, Y., Long, Z., Zhang, X. & Yang, Y., 2015. White-Rot Fungus *Ganoderma sp.* En3 Had a Strong Ability to Decolorize and Tolerate The Anthraquinone, Indigo and Triphenylmethane Dye with High Concentrations. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 39(3), pp.381-390.
- Ma, L., Zhuo, R., Liu, H., Yu, D., Jiang, M., Zhang, X. & Yang, Y., 2014. Efficient Decolorization and Detoxification of The Sulfonated Azo Dye Reactive Orange 16 and Simulated Textile Wastewater Containing Reactive Orange 16 by The White-Rot Fungus *Ganoderma sp.* En3 Isolated from The Forest of Tzu-chin Mountain in China. *Biochemical Engineering Journal*, 82, pp.1-9.
- Muslimah, S. & Kuswytasari, N.D., 2013. Potensi Basidiomycetes Koleksi Biologi ITS sebagai Agen Biodekolorisasi Zat Warna RBBR. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 2(1), pp.2337-3520.
- Nguyen, B.T.T., Ngo, N.X., Le, V.V., Nguyen, L.T., Kana, R. & Nguyen, H.D., 2019. Optimal culture conditions for mycelial growth and fruiting body formation of *Ling Zhi* mushroom *Ganoderma lucidum* strain GA3. *Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering*, 61(1), pp.62-67.
- Novak, J.T., Robert, C.H. & Clifford, W.R., 2001. *Biological Treatment of a Synthetic Dye Water and an Industrial Textile Wastewater Containing Azo Dye Compounds*. Blacksburg Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Noviendri, D., Fawzaya, Y.N. & Chasanah, E., 2008. Karakteristik dan Sifat Kinetika Enzim Kitinase dari Isolat Bakteri T5a1 Asal Terasi. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 3, pp.123-129.
- Oliveira, S.F., Luz, J.M.R., Kasuya, M.C.M., Ladeira, L.O. & Ary Correa Junior., 2018. Enzymatic Extract Containing Lignin Peroxidase Immobilized on Carbon Nanotubes: Potential Biocatalyst in Dye Decolourization. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25, pp.651-659.
- Osma, J.F., Herrera, J.L.T. & Couto, S.R., 2010. Transformation Pathway of Remazol Brilliant Blue R by Immobilised Laccase. *Bioresource Technology*, 101, pp.8509-8514.
- Papadopoulou, K., Kalagona, I.M., Philippoussis, A. & Rigas, F., 2013. Optimization of Fungal Decolorization of Azo and Anthraquinone Dyes iaBox-Behnken Design. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 77, pp.31-38.
- Purnama, H. & Setiati., 2004. Adsorpsi Limbah Tekstil Sintesis dengan Jerami Padi. *Jurnal Teknik Gelagar*, 15(1), pp.1-9.
- Rahmat, N.A., Ali, A.A., Salmiati, Hussain, N., Muhamad, M.S., Kristanti, R.A. & Hadibarata, T., 2016. Removal of Remazol Brilliant Blue R from Aqueous Solution by Adsorption Using Pineapple Leaf Powder and Lime Peel Powder. *Water, Air and Soil Pollution*, 227, pp.105-115.
- Rao, M.A., Scelza, R., Acevedo, F., Diez, M.C. & Gianfreda, L., 2014. Enzymes as Useful Tools for Environmental Purposes. *Chemosphere*, 107, pp.145-162,

- Saeed, A., Iqbal, M. & Zafar, S.I., 2009. Immobilization of *Trichoderma viride* for Enhanced Methylene Blue Biosorption: Batch and Column Studies. *Journal of Hazardous Materials*, 168, pp.406-415.
- Saetang, J. & Babel, S., 2010. Fungi Immobilization for Landfill Leachate Treatment. *Water Science and Technology*, 62(6), pp.1240-1247
- Saito, Y., Tsuchida, H., Matsumoto, T., Makita, Y., Kawashima, M., Kikuchi, J. & Matsui, M., 2018. Screening of Fungi for Decomposition of Lignin-Derived Products from Japanese Cedar. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 126(5), pp.573-579.
- Sari, A.A. & Dewi, R.S., 2019. The Study of Basidiomycota and Glomeromycota Biodiversity in Baturraden Botanical Garden, Indonesia. Report Research. Research Grant Programme, NEF.
- Siswanto, S., Suharyanto & Rosy, F., 2007. Produksi dan Karakterisasi Lakase *Omphalina* sp. Menara Perkebunan, 75(2), pp.106-115.
- Sudiana, I.K., Sastrawidana, I.D.K. & Sukarta, I.N., 2018. Decolorization Study of Remazol Black B Textile Dye Using Local Fungi of *Ganoderma* sp. and Their Ligninolytic Enzymes. *Journal of Environmental Science and Technology*, 11(1), pp.16-22.
- Sumathi, S. & Phatak, V., 1999. Fungal Treatment of Bagasse Based Pulp and Paper Mill Wastes. *Environmental Technology*, 19, pp.93-98.
- Torres-Farradá, G., Manzano-León, A.M., Rineau, F., Leal, M.R., Thijs, S., Jambon, I., Put, J., Czech, J., Rivera, G.G., Carleer, R. & Vangronsveld, J., 2019. Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Native *Ganoderma* sp. Strains: Identification of Metabolites and Proposed Degradation Pathways. *Applied Microbiology and Biotechnology*, pp.1-13.
- Upadhyay, P., Shrivastava, R. & Agrawal, P.K., 2016. Bioprospecting and Biotechnological Applications of Fungal Laccase. 3 *Biotech*, 6(1), pp.15.
- Volesky, B., 1990. *Biosorption by Heavy Metals*. Florida: CRC Press.
- Yesiladal, K.S., Pekin, G.L., Bermek, H., Alaton, I.A., Orhon, D. & Tamerler, C., 2006. Bioremediation of Textile Azo Dyes by *Trichophyton rubrum* LSK-27. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 22, pp.1027-1031.
- Zeng, X., Cai, Y., Liao, X., Zeng, X., Li, W. & Zhang, D., 2011. Decolorization of Synthetic Dyes by Crude Laccase from A Newly Isolated *Trametes trogii* Strain Cultivated on Solid Agro-Industrial Residue. *Journal of Hazardous Materials*, 187, pp.517-525.
- Zhuo, R., Ma, L., Fan, F., Gong, Y., Wan, X., Jiang, M., Zhang, X. & Yang, Y., 2011. Decolorization of Different Dyes by a Newly Isolated White-Rot Fungi Strain *Ganoderma* sp.En3 and Cloning and Functional Analysis of Its Laccase Gene. *Journal of Hazardous Materials*, 192, pp.855-873.